

引进化工装置设备技术总结

球 罐

洪国宝 主编

51.3

化学工业出版社

引进化工装置设备技术总结

球 罐

洪国宝 主编

化学工业出版社

内 容 提 要

“引进化工装置设备技术总结”分《球罐》、《高压容器》和《工业炉》三册分别出版。

本书叙述球罐有关技术问题，内容共分九章，包括材料选用、强度计算、结构设计、制造安装、焊接施工、检验等方面。书中对几个国家的球罐技术做了对比分析，并提出推荐意见。书后并列有参考资料目录。

本书可供从事化工设备制造、设计、安装施工的工程技术人员使用，也可供大、中专院校化工机械专业师生参考。

引进化工装置设备技术总结

球 罐

洪国宝 主编

化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ 印张10插页1 字数248千字印数1—1,500

1982年2月北京第1版1982年2月北京第1次印刷

统一书号15063·3354定价1.10元

限国内发行

前 言

七十年代初我国石油、化工及轻工等部门引进了一些大型化肥及化纤装置，其中某些装置采用球罐贮存物料。这些球罐都是由外商提供压制成形的球瓣、焊接材料以及有关安装工艺技术要求和设备，由我国负责施工安装的；在材料选用、强度计算、结构设计、组装方式、焊接施工、检验等方面都有一些可供借鉴之处。

按照化工部基本建设局的要求，由化工部设备设计技术中心站组织引进化工装置中某些设备的技术总结工作。本书——《球罐》由北京燕山石油化学工业总公司设计院洪国宝同志负责主编。参加编写工作的有：北京燕山石油化学工业总公司设计院洪国宝、韩伟基、王葵海；兰州石油机械研究所汤合君；南京化工学院梁亚明；天津化工设计院湛卢炳；东方锅炉厂金顺文、周竹影；广东省石油化工设计院董永光；成都科技大学沈达德；化工部第八设计院刘培德；化工部设备设计技术中心站洪德晓等同志。全书由化工部设备设计技术中心站洪德晓、应道宴同志负责统一整理定稿。

由于参加编写工作的同志水平所限，加上引进装置的具体条件，在编写中可能存在不足与不妥之处，望读者热忱地给予指正。

在本书的整理出版工作中得到了上海石油化工总厂设计院奚立诚、曹建浩、盛昌国等同志的协助，在此表示感谢。

目 录

前言

第一章 概论	1
一、球罐的特点.....	1
二、近代工业发展对气体及液化气贮罐的需要.....	1
三、我国引进球罐的情况.....	1
四、从引进球罐到自制球罐.....	1
第二章 材料	5
一、概述.....	5
二、引进球罐用钢特点.....	5
三、引进球罐用钢的评价.....	16
四、对今后国内球罐用钢的看法.....	16
第三章 结构设计	17
一、概述.....	17
二、球壳设计.....	17
三、球瓣坡口设计.....	36
四、支承结构设计.....	43
五、人孔结构设计.....	52
六、接管结构设计.....	53
七、球罐附件设计.....	57
第四章 设计计算	64
一、日本球罐的设计计算.....	64
二、法国球罐的设计计算.....	70
三、设计计算的分析.....	76
四、实例计算.....	79
第五章 制造	86
一、概述.....	86
二、制造的内容.....	86
三、原材料的复验.....	86
四、球瓣制造工艺.....	86
五、球瓣的放样及样板的制造.....	87
六、球瓣的制造.....	88
七、球瓣坡口的制作及其它.....	91
八、焊后炉内热处理.....	91
九、支柱的制造.....	91
十、球瓣的堆放和吊运等注意事项.....	91

十一、球瓣及附件的喷砂、涂漆和包装	92
第六章 组装	93
一、概述	93
二、组装的准备	96
三、球罐的组装和安全措施	110
第七章 焊接	126
一、概述	126
二、焊接施工前的准备工作	126
三、焊接施工中的管理工作	127
四、法国氨球罐焊接施工特点简介	128
五、日本1900米 ³ 乙烯球罐焊接工艺说明书	130
六、防止球罐焊接热影响区裂纹的几点建议	135
第八章 检验	136
一、制造厂加工过程中的检验	136
二、施工组装的检验	139
三、焊缝检验	141
四、竣工检查试验	142
五、球罐的开罐检查	143
第九章 整体热处理	144
一、概述	144
二、引进球罐热处理情况简介	146
三、大型球罐整体热处理	147
参考资料	154

第一章 概 论

一、球 罐 的 特 点

球罐占地面积小，基础工程较简单。相同直径的压力容器中球罐的壁厚只有卧（立）式容器的一半，且同容量下表面积小，因此钢材的消耗量少。因表面小节约保温材料，又减少热量或冷量的损失。但球罐的制造较困难，加工费用较高。此外，一个仅50米³容积的球罐，其直径达4.6米，已不适于整体常规运输，须在现场组装焊接，而100米³容积的卧（立）式贮罐，还可以在制造厂中预制。在现场组装焊接球罐，施工费用较高，施工质量易受风雨、温度、湿度等环境因素的影响。但在压力下气体或液化气体的大容量储存方面球罐已得到广泛使用。

二、近代工业发展对气体及液化气贮罐的需要

六十年代开始，是国外石油化学工业高速发展时期，合成氨和乙烯装置走向大型化并大规模建设。据不完全统计，1976年发展中国家引进了86套合成氨装置，年生产能力2394万吨；26套乙烯装置，年生产能力562万吨。美国1976年新建13套年产30~45万吨规模的合成氨装置；10套年产40~50万吨乙烯装置。苏联1976年新建17套40~45万吨规模的合成氨装置^{〔1〕}。与此同时，引人注目的所谓“清洁的能源”——液化天然气（LNG）及液化石油气（LPG）的需求日益增大，它不仅是日常生活中的民用燃料，而且是化肥、合成纤维、合成材料、合成橡胶的主要原料。它从遥远的产地通过管道或海运送到需用地点，运输距离往往达数千公里。世界各国还拥有装设大型球罐以运输天然气或石油气的专用远洋巨轮。工业的高速发展及液化天然气、石油气大规模的运输、储存，产生了对球罐的大量需要，要求球罐大型化。球罐不仅是石油化学工业储存原料，中间产品、成品的重要设备，而且是运输、储存能源的重要手段。它还广泛地应用于冶金工业储存氧气炼钢用压力氧气；宇航工业储存火箭发射燃料；在原子能工业也用球罐作反应堆的安全壳，这种安全壳的直径达61米，容积119000米³，是目前最大的球罐。

三、我国引进球罐的情况

为了发展我国的石油化学工业以提高人民生活水平，在七十年代初，引进了十八套石油化工装置及合成氨装置。其中产品及中间产品的储存，例如乙烯、丙烯、丁二烯、液化石油气、液氨、氧气、氮气等，都采用球形容器，现将引进球罐的情况以表1-1示。

四、从引进球罐到自制球罐

从引进球罐中，使我们了解到国外部分球罐设计和计算方法、常温及低温球罐选材的原则、结构特点、制造情况、组装技术及焊接工艺、检验方法，学习了球罐整体热处理技术。

所谓引进球罐，实质上是进口球瓣及附件、焊条、焊接工艺及组装技术。球罐的现场组装、焊接、整体热处理、检验、缺陷的修复等，都在国内进行。在引进球罐的施工中，培养

表 1-1 国外引进球罐简介

容量, 米 ³	200	300	400	500	1000	1000	1000	1350	1900	2200	5200	8250
全容积, 米 ³	203.7	299.39	421.16	497.3	998.31	1000.73	1010.4	1346.35	1912.3	2271.8	5203.7	8279.8
内径, 毫米	7300	8300	9300	9830	12400	12410	12450	13700	15400	16310	21500	25100
设计压力, 公斤/厘米 ²	19	2	6	29.7	18.98	19.8	22	21.5	21	18.6	5.0	4.05
设计温度, °C	-15	+55~-20	+55~-20	-29	+55~-20	+50~-12.8	-31	+40~-40	-31	48	0	+4~-10
壁厚, 毫米	18	8	10.3~10.9	34.7~35.9	39.5~40.6	30.1~31.4	37	49.5~50.7	39~40	36~38.3	17~21	15.7~21.5
贮存介质	氢气	戊烷	丁烷	液态乙烯	丙烯 L.P.G	液态丙烯	液态乙烯	液态乙烯	液态乙烯	液态丙烯	液氨	液氨
球壳材质	SPV50	DILLINAL 52/36N	DILLINAL 52/36N	N-TUF50	UN10N36Nb	N-TUF50	N-TUF50	CRE34SS	RIVERACE 60L	WEL- TEN62	SPV36	A52P1
材质标准	JISG3115	St52/36F	St52/36F	LT50-IV- 60G	St50/34SRF	LT50-IV- 60G	LT50-IV- 60G	St50/34- SRF27	LT50-V- 40G	HW50	JISG3115	A537G-A
焊条牌号	L-60	T507-特	T507-特	LB-62N	T507-特	LB-62N	LB-62N	FRIGO-50	L-60S	LB-62P	LB-52	CRUNK50
焊条厂商	日铁	沈阳焊条厂	沈阳焊条厂	神钢	沈阳焊条厂	神钢	神钢	萨哈森	日铁	神钢	神钢	西德
引进国别	日本	法国	法国	日本	法国	日本	日本	法国	日本	日本	日本	法国
制造厂商	日本制作所	普罗旺斯	普罗旺斯	东洋火热	普罗旺斯	东洋火热	石井铁工	普罗旺斯	石井铁工	东洋火热	石井铁工	普罗旺斯
施工单位	十三冶建	沈阳指挥部	沈阳指挥部	上船、中华、 沪东	沈阳指挥部	石化五公司	吉化公司	沈阳指挥部	北化建	上焊、彭 浦	山东化建, 川化	江苏、广 东, 石化

使用单位	07工程	辽阳化纤总厂	辽阳化纤总厂	上海石化总厂	辽阳化纤总厂	向阳化工厂	吉化公司	辽阳化纤总厂	前进化工厂	上海石化总厂	胜利化肥厂 四川化工	南京, 广州, 安庆
设计规范	高压气体法	SNCTTI (法)	SNCTTI	KHK	SNCTTI	KHK	KHK	SNCTTI	KHK	KHK	KHK	ASME
支柱形式	赤道正切	赤道正切	赤道正切	赤道正切	赤道正切	赤道正切	赤道正切	赤道正切	赤道正切	赤道正切	赤道正切	赤道正切
球板块数	15	16	18	42	28	54	54	30	66	66		
焊缝深伤	全部射线	全部射线	全部射线	全部射线	全部射线	全部射线	全部射线	全部射线	全部射线	全部射线	全部射线	全部射线
建设地点	武汉	辽阳	辽阳	上海	辽阳	北京	吉林	辽阳	北京	上海	山东, 四川	南京, 广州, 安庆
台数	1	1	1	6	3	3	3	3	4	2	2	3
净重, 吨/台	20	20	31	98	120.5	135	143	269	265	300	320	463
建成年月	1977.10	1976.5	1976.5	1975.8	1976.5	1975.12	1978.5	1976.5	1974.10	1975.8	1976	1977
投料年月	1978	1978	1978	1976	1978	1976.5		1978	1975.5		1977	1978
热处理				局部热处理	整体热处理	局部热处理	局部热处理	整体热处理	局部热处理	局部热处理	局部热处理	

了国内的技术力量,研究并开发了我国自己的球罐整体热处理技术,对球罐今后立足于国内提供了有利条件。

从总结引进球罐技术角度来分析,认为今后为了发展国产球罐,值得考虑以下几点:

1. 球罐用钢问题

由于球罐的大型化,日本球罐用钢主要向高强度钢发展,1956年采用美国的T-1钢制出日本第一台大型球罐,1962年采用了屈服限 $\sigma_s=80$ 公斤/毫米²的高强度钢制造球罐,1964年进一步制造了世界第一个屈服限 $\sigma_s=100$ 公斤/毫米²的高强度钢球罐。尽管采用了高强度钢,但按日本新规范——1976年修订的《高压气体管理法》及1976年新颁布的《特种设备检查规程》,由于安全系数增大了,所设计的乙烯球罐,虽然材料采用WEL-TEN80C($\sigma_s=80$ 公斤/毫米²级的低温高强度钢板),为了避免板厚超出40毫米(见九章)而导致整体热处理,故球罐最大容积限制为1000米³(22)。北京燕山石油化学工业总公司引进的乙烯球罐,按70年日本法规设计,材料为LT-50($\sigma_s=50$ 公斤/毫米²低温高强度钢板),容积为1912.3米³,不作整体热处理。

由法国进口的乙烯球罐,容积1350米³,采用 $\sigma_s=34$ 公斤/毫米²(牌号ST50/34-SRF)钢板制造,球瓣厚49.5~50.7毫米,球罐在组装焊接完成后进行了整体热处理。

目前我国用于球罐制造的主要钢材品种为A3R, 16MnR 15MnVR,不属于高强度钢,只能建造常温中小型球罐。此外,国产钢板尺寸较小,因而在大型球罐的制造上球瓣数量多,增加了焊缝长度,容易降低球罐质量,这也是需要考虑的。

从现实需要看我国急需发展屈服限为50公斤/毫米²级的高强度调质钢以满足球罐,特别是乙烯球罐用材的需要。

2. 解决球瓣的自制问题

我国目前已建成数以百计的中小型球罐,具备生产球瓣的条件,也有一定的制造经验。我国从日本石井铁工厂进口球罐较多,从该厂在东京、千叶、大阪三个分厂的装备来看,共有500吨压机四台、1500吨压机一台,该厂承制我国吉化1000米³乙烯球罐三台,共需压制球瓣162块,每天可以压制二块,采用逐点冷压成形,具备石井铁工厂那样的装备,在我国完全可以办到的。

第二章 材 料

一、概 述

1. 球罐选材发展趋势

鉴于球罐向大型化发展,球罐本体材料的选材有向高强度钢发展的趋势。采用高强度钢制造球罐,有如下优点^[3]:

(1) 对于相同容量的球罐,采用高强度钢可以减小壁厚,节省原材料的消耗。

(2) 经济性好,占地面积少,附件数量减少,节省基础工程的设计费用,减少制造工时,运输和安装也方便。

(3) 可建成不需整体热处理的大容量球罐,因此可节省投资。

2. 国外球罐用钢特点

美国是最早采用高强度钢制造球罐的国家,典型钢种是50年代时期由美国联合钢铁公司生产的抗拉强度80公斤/毫米²级的T-1钢。但美国近年来并没有再用更高强度的钢材来制作球罐。

日本高强度钢是在引进美国T-1钢的基础上发展起来的。开始是从美国引进T-1钢制造了近35台球罐,随后仿制该钢种开发了抗拉强度60、70、80和100公斤/毫米²级高强度钢作为球罐用钢。到1969年,日本采用抗拉强度80公斤/毫米²级的HW80制造了近110台球罐^[3]。而早在1964年又采用100公斤/毫米²级的超高强度IN处理的WEL-TEN100N钢制造了一台用于贮存甲醇合成气的600米³的球罐(压力24公斤/厘米²、内径10.5米、壁厚22毫米、常温使用)。

美国与日本一般均倾向于采用抗拉强度60到80公斤/毫米²级的高强度钢作为球罐用钢^[4],可使球罐不需进行整体热处理。一般壁厚控制在40毫米以下。

英、法、西德等西欧国家,一般采用中低强度钢来制造球罐,因此球罐壁厚较大,故需用整体热处理的办法来消除焊接残余应力。对于球罐整体热处理,西欧国家具有比较成熟的经验。对于焊接工艺规程、气候条件,焊前预热,探伤检查等要求不甚严,便于现场施工。

由法国引进的1350米³的乙烯球罐壁厚为50.68毫米,1000米³丙烯球罐壁厚为40.63毫米,因球罐壁厚较大,故进行了整体热处理^[5]。

二、引进球罐用钢特点

由国外引进球罐贮存的介质为氮气、丁烷、戊烷、液氨、丙烯和乙烯等。其中贮存乙烯之球罐为半加压半冷冻的低温球罐,其余均为常温球罐。

1. 常温球罐用钢

由国外引进之常温球罐用钢,均为一般锅炉和压力容器用碳素钢,属C-Mn系铁素体钢。其中法国的UNION36Nb(St50/34SRE),化学成分中添加了合金元素Al、Cu、Nb等,可细化晶粒,提高钢板的韧性。其化学成分和机械性能见表2-1^{[5][6][7][8]}为屈服极限35公斤/毫米²级的中等强度钢。

Dillinal 52/36N(St52/36F)钢板系法国Ste Ame des Forges et Acieries de Dilling生

表 2-1 常溫球罐用材(球瓣)之化學成分和機械性能

材料名称	化 学 成 分 %							机 械 性 能										
	板 厚 (毫米)	C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	Nb	Ceq	热处 理	板厚 毫米	屈服限 公斤/ 毫米 ²	抗拉 强度 公斤/ 毫米 ²	延伸率 δ%	冷弯 180°	冲 击 值	
																	试验 温度 ℃	最小冲击值, 公斤·米/厘米 ²
Dillinal 52/36N	规定 值	≤0.20	≤0.50	≤1.60	≤0.040	≤0.040					正火		≥36	52~62	≥22		2V -20	L≥5
	实测 值	0.10~0.41 0.19	0.41~1.36 0.50	1.36~0.011 1.48	0.011~0.021	0.021~0.047	0.031~0.047				正火		41~42	56~57	29		2V -20	L7.0~12.3
A52P1	3≤t<16	0.20										t≤30	36					
	规定 值		≤0.55	≥0.90	≤0.04	≤0.04					正火	30<t ≤50	34	52~62			2V -20	4.08
	16≤t≤ 80	0.22										50≤t ≤80	34					
A52C1	3≤t<16	0.20										t≤30	36					
	规定 值		≤0.55	≥0.90	≤0.04	≤0.04					正火	30<t ≤50	34	52~62			2V 0	4.08
	16≤t≤ 80	0.22										50<t ≤80	34					
UNION 36Nb	规定 值	≤0.18	0.15~0.9~ 0.50	1.60	≤0.035	≤0.035			0.02~ 0.04	≤0.43	正火		≥34	50~60	≥22		2V -20	L*≥5/≥4 C≥3.5/≥2.8
	实测 值	0.16~0.25 0.18	0.25~1.19~ 0.48	1.35 1.85	0.013~ 0.026	0.011~ 0.025	0.03~ 0.06	0.01~0.022~ 0.08	0.030 0.421	正火		34.5~ 39.5	51.1~ 57.7	26~31			2V -20	L4.15~12.7 C3.09~5.23
SPV36	规定 值	≤0.20	0.15~ 0.55	≤1.60	≤0.035	≤0.035				~0.40		≤40 >40	36 34	53~65			2V 0	4.8
	保证 值											≤34 >34	>40 <40	53~65	t≥ 16吋 ≥18	1.5d	2V 0	**4.8/2.8
16MnR	规定 值	≤0.20	0.20~ 0.60	1.20~ 1.60	≤0.040	≤0.045					热轧	17~26 27~36 38~50	≥33 ≥31 ≥29	≥50 ≥50 ≥48	20 19 19	3.0d	2U -40	7.5

* 分母为个别试件不得小于的最小值

产之锅炉和压力容器用钢, 钢板进行正火热处理^[5]。

A52Pl钢板系法国赫尔蒂公司按法国标准协会 NFA36-205-70 标准钢号生产之锅炉和压力容器用钢。碳当量 $C_{eq} \approx 0.415$, 有良好的可焊性。

A52Cl钢板系按法国标准协会 NFA36-205-70 标准钢号生产的锅炉和压力容器用钢。钢板进行正火热处理^[7]。

UNION 36Nb钢板系西德 Hoeseh Huttenwerke AG werk phoenix Dortmund-Horde 生产之锅炉和压力容器用钢, 为含Al、Cu、Nb之细晶粒钢, 钢板经正火处理, 韧性较好。碳当量控制在0.43以下, 故可焊性良好^[5]。

SPV36钢板系按日本工业标准JISG3115-1973生产之压力容器用钢^[8]。

WEL-TEN62钢板系日本新日铁公司生产的可焊高强度钢, 作为常温球罐用钢, 该钢种具有较高的缺口韧性和塑性, 具有良好的可焊性。该系列钢也可作为低温球罐用钢, 其化学成分和机械性能见表2-2。

2. 低温球罐用钢

由国外引进的贮存液态乙烯之低温球罐用钢共三种: CREUSELSO 34SS、N-TUF50和RIVERACE60L。其化学成分和机械性能见表2-2^{[5][9][10][11][12][13]}。

CREUSELSO 34SS、钢板系法国Ste CREUSOT-LOTRE公司生产的屈服极限为 34 公斤/毫米²级低温用钢。由于钢中含Ni, 且钢板经正火处理。钢的含碳量控制在0.16%~0.18%以下, 碳当量 C_{eq} 又限制在0.43以下, 故钢板具有良好的可焊性。钢中含硫量较低, 在0.006~0.014%之间, 使钢中硫化物夹杂大大减少, 提高了钢板的质量, 减少了钢板内纵向和横向材质的各向异性^[5]。

由于球罐大型化, 使球罐用钢趋向于高强度钢, 因此这里着重介绍由日本引进的球罐用高强度钢。

(1) 引进球罐用可焊高强度钢和低温用钢系列介绍

由日本引进的球罐用钢共三个系列: 可焊高强度钢 WEL-TEN系列、低温用钢 N-TUF系列和RIVERACE系列。

i) WEL-TEN系列

WEL-TEN系列是新日本制铁公司于1960年研制生产的可焊高强度钢系列。该系列按强度等级可分成十二个等级, 以供各种工业之需要。WEL-TEN系列之钢号列于表2-3^[14]。

WEL-TEN系列中除WEL-TEN60R为热轧供货、WEL-TEN60H为正火热处理供货外, 其余均经调质供货。

WEL-TEN系列也可作为低温球罐用钢, 如WEL-TEN80C也作为低温球罐(如乙烯球罐)用钢, 其特点是不含Ni、V等元素, 具有良好的低温冲击韧性, 抗应力腐蚀能力较好。已被日本焊接协会确认为低温用钢。

ii) N-TUF系列

N-TUF系列也是日本制铁公司于1960年研制生产的, 属于低温用钢系列。该系列共分八个等级。N-TUF系列之钢种列于表2-4^[15]。

N-TUF系列中有三个主要等级: N-TUF30N, N-TUF33N和N-TUF33, 这三个钢种使用于半加压及半冷冻的低温贮槽和槽船。每个等级中可分为2.5%Ni和3.5%Ni钢, 并包括了最新研制生产的N-TUFCR130和N-TUF196这两个特别等级, 适用于作深冷贮罐用钢。

N-TUF50是调质的低合金细晶粒镇静钢, 属Ni-Mo-V系钢中含适量的Ni、Cr、Mo和V

表 2-2 低温球罐用钢之

钢 种		化 学 成 分										
		板厚 毫米	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Al
T-1			0.10~ 0.20	0.15~ 0.35	0.60~ 1.00	≤0.035	≤0.040	0.70~ 1.00	0.40~ 0.65	0.40~ 0.60	0.03~ 0.08	—
WEL-TEN62	規定値	≤	≤0.16	0.15~ 0.55	0.90~ 1.50	≤0.030	≤0.030	—	—	—	—	—
	規定値		≤0.16	0.15~ 0.55	0.90~ 1.50	≤0.030	≤0.030	≤0.60	≤0.30	≤0.30	≤0.10	—
WEL-TEN80C	規定値	6~50	≤0.16	0.15~ 0.35	0.60~ 1.20	≤0.030	≤0.030	—	0.60~ 1.20	0.30~ 0.60	—	—
N-TUF50	規定値		≤0.16	0.15~ 0.55	0.90~ 1.40	≤0.030	≤0.030	≤0.60	≤0.30	≤0.30	≤0.08	—
	△ ^③	35.1	0.11	0.24	0.98	0.010	0.010	0.41	0.11	0.21	0.03	—
	△	37	0.12	0.24	0.99	0.017	0.005	0.42	0.14	0.21	—	—
N-TUF50-S·R ^④	△	35.1	0.12	0.25	0.95	0.010	0.010	0.40	0.14	0.29	0.03	—
	△	35.4	0.12	0.24	0.95	0.010	0.005	0.41	0.09	0.28	0.03	—
RIVERACE60L	規定値		≤0.18	≤0.55	≤1.50	≤0.035	≤0.035	⑤	⑥	⑤	⑤	—
	△	26	0.13	0.40	1.16	0.016	0.006	0.50	0.06	0.13	0.021	0.025
	△	40	0.14	0.38	1.22	0.013	0.008	0.52	0.06	0.14	0.020	0.028
CREUSEL SO 34SS	規定値		≤0.16	0.15~ 0.50	0.80~ 1.60	≤0.035	≤0.035	≤0.50	—	—	—	—
	△		0.127~ 0.142	0.20~ 0.44	1.23~ 1.39	0.010~ 0.019	0.006~ 0.014	0.12~ 0.215	0.065~ 0.17	0.02~ 0.04	0.047~ 0.060	—

注：①试样长度2"；②按JISZ2201，No.5 $t \leq 16$ $\delta \geq 19\%$ ； $t > 16$ $\delta \geq 27$ ；按JISZ2201，No.4 $t \geq 20$ $\delta \geq 19$ ③要时可添 ④按JISZ2201 No.5 $6 \leq t < 9$ $\delta \geq 20$ ； $9 \leq t < 12$ $\delta \geq 22$ ； $12 \leq t < 15$ $\delta \geq 24$ ； $15 \leq t < 18$ $\delta \geq 26$ ；18最小值，冲击值的单位为 $\text{kg} \cdot \text{m}/\text{cm}^2$ ⑤有“△”者为实例

等合金元素，具有较高的低温冲击韧性。可焊性良好。

iii) RIVERACE系列

RIVERACE系列系日本川崎制铁公司于1958年研制成功的低温高强度钢系列。该系列共有三个等级，列于表2-5^[16]。

RIVERACE系列，是属于低合金高强度调质钢，添加适量合金元素后构成的细晶粒 镇

化学成分和机械性能

			机 械 性 能								备 注	
Cu	B	C _{eq}	热处理	板厚 毫米	屈服限 公斤/ 毫米 ²	抗拉 强度 公斤/ 毫米 ²	延伸率 %	冷 弯 180°	冲 击 值			
									试片	试验温度 ℃		最小冲击能 公斤-米
0.15~ 0.50	0.002~ 0.006		调质	64	70	81~95	18					-20℃≤T≤ +50℃
				100	63	74~95	17 ^①					
				150	63	74~95	16					
—	—	≤0.43	调质	6~50	≥50	62~74	③	$6 \leq t < 32$ 1.5t	2V	-10	$13 < t \leq 32$ >4.8	
—	—	≤0.59			$32 \leq t < 50$ 2.0t	-15	$32 < t \leq 50$ >4.8					
0.15~ 0.50	≤0.006		调质	6~50	≥70	80~95		$t \leq 32$ 1.5t $t > 32$ 2.0t	2V	WES- 136 给定的 试验温度	$\frac{1}{2}V_{Emax}$	
—	—	≤0.44	调质	6~32	≥50	62~75	⑤	1.5t	2V	WES- 136 给定的 试验温度	$\frac{1}{2}V_{Emax}$	
—	—	0.37		35.1	59	66	43		2V	+20 -45	10.8 7.3	
—	—	0.40		37	52	66	30		2V	+20 -45	28.8 30.0	
—	—	0.40	调质	35.1	60	68	43		2V	+20 -45	11.2 7.7	
—	—	0.39		35.9	61	69	45		2V	+20 -45	21.5 19.8	
—	—	—	调质		≥50	62~75	⑥		按WES-136标准规定			
0.06	—	0.398		26 $\frac{L}{C}$ ⑦	57.5 57.7	67.2 66.2	31 28	1.5t	2V	-40	18.3 14.9	
0.07	—	0.420		40 $\frac{L}{C}$	58.0 56.2	67.1 66.5	29 28	1.5t	2V	-40	19.6 16.1	
—	—	≤0.43	正火		≥34	50~60	≥22		2V	-54	$\frac{L}{C} \geq 5/\geq 4$ $\geq 3.5/\geq 2.8$	⑧
0.11~ 0.23	—	—			37~ 42.8	50.5~ 56.7	26~33		2V	-54	$\frac{L}{C} 6.07\sim 12.7$ 4~7.03	

按JISZ2201 No.5 $t < 21$ $\delta = (4.5 + 5\sqrt{t})\%$; 按JISZ2201 No.4 $t \geq 21$ $\delta = 17$ ④ S.R—应力消除退火 ⑤ 必
 $\leq t < 21$ $\delta > 28$; 按JISZ2201 No.4 $t \geq 21$ $\delta > 20$ ⑦ L—纵向试样 C—横向试样 ⑧ 分母为个别试样不得小于的

静钢。RIVERACE 60L属于Ni-Mo-V系, RIVERACE70L属于Ni-Cr-Mo-V-B系, RIVERACEK-OL亦属于Ni-Cr-Mo-V-B类, 它们与焊接结构高强度钢板 RIVERACE60、RIVERACE70、RIVERACE K-O 的不同点是添加了适量的 Ni、Mo、V 元素。由于添加了这些元素, 调质后产生了回火马氏体组织, 所以具有较高的低温冲击韧性^[11]。

(2) 引进日本球罐用钢的特点

表 2-3 WEL-TEN系列之钢种

种 类	名 称	适用板厚 毫米	屈 服 强 度 公斤/毫米 ²	抗 拉 强 度 公斤/毫米 ²
60公斤/毫米 ² 级	WEL-TEN60R A	2.3~25	>46	60~72
	WEL-TEN60R B	2.3~25		
	WEL-TEN60R C	6~20		
	WEL-TEN60H	6~50	6≤t<38; >45	60~72
			38≤t≤50; >42	
	WEL-TEN60	6~50	>46	60~72
	WEL-TEN60 CF	6~50	>46	60~72
	WEL-TEN62	6~50	>50	62~75
	WEL-TEN62 CF	6~50	>50	62~74
70公斤/毫米 ² 级	WEL-TEN70	6~50 50~75	>63 >61	70~85 68~83
	WEL-TEN70C	6~50	>63	70~85
80公斤/毫米 ² 级	WEL-TEN80	6~50 50~100	>70 >68	80~95 78~93
	WEL-TEN80C	6~40	>70	80~95
	WEL-TEN80P	6~40	>70	80~95
	WEL-TEN80E	6~20	>70	80~95
	WEL-TEN80S	6~70	>70	80~95
100公斤/毫米 ² 级	WEL-TEN100N	6~32	>90	97~115

表 2-4 N-TUF系列之钢种

种 类	适用板厚 毫米	屈服强度 公斤/毫米 ²	抗拉强度 公斤/毫米 ²	种 类	适用板厚 毫米	屈服强度 公斤/毫米 ²	抗拉强度 公斤/毫米 ²
N-TUF30N	6~32	>30	43~55	N-TUF50	6~32	>50	62~75
N-TUF33N	6~32	>33	45~57	N-TUF58	6~26	>58	68~82
N-TUF33	6~50	>33	45~57	N-TUFCR130	6~26	>45	55~67
N-TUF37	6~26	>37	50~62	N-TUFCR196	6~26	>60	70~84

表 2-5 RIVERACE系列之钢种

种 类	适用板厚 毫米	屈服强度 公斤/毫 米 ²	抗拉强度 公斤/毫米 ²
RIVERACE60L	6~40	>50	62~75
RIVERACE70L	6~40	>63	74~85
RIVERACE K-0L	6~40	>70	80~95

由日本引进的球罐用钢均为屈服极限50公斤/毫米²级调质低合金钢。

i) 化学成分

WEL-TEN62 钢属于 C-Mn 系 钢, N-TUF-50和RIVERACE60L 均属于 Ni-Mo-V 系钢, 这类钢与国产球罐用钢相比, 化学成分有如下特点:

a) 含碳量低

设计规定钢中含碳量在0.16%~0.18%以下, 实际含碳量一般在0.1%左右^{〔12〕〔13〕}, 由于将碳当量尽量控制在较低值, 钢板就具有良好的可焊性。

b) 含硫量低

采用先进的电炉冶炼工艺, 钢中含硫量大大降低。设计规定含硫量在0.030%以下, 但实际上含硫量控制在0.006~0.010%^{〔5〕〔12〕〔13〕}, 比一般碳钢低得多(国内钢种尚达不到这个指标)。含硫量的降低, 使钢板中硫化夹杂大大减少, 从而减少了钢板内纵向和横向材质的各向异性, 降低了钢板的低温脆性倾向, 韧性提高。

ii) 机械性能

a) 强度高

钢板经调质后, 强度较高, 屈服极限超过50公斤/毫米², 抗拉强度达到62~75公斤/毫米², 它的特点是屈强比高, 可达0.80~0.95, 这对减少球罐壁厚非常有利。

b) 具有较高的低温冲击韧性

由日本引进的球罐用钢板经各种小型冲击试验, 其结果说明钢板具有良好的韧性。

各种小型试验的试样按板厚的1/4位置沿轧制方向(L方向)和横向(C方向)截取, 分别进行2毫米V型、5毫米U型及压制缺口的却贝冲击试验。

试验结果见表2-6^{〔17〕〔14〕}。

表 2-6 V型却贝试验结果

钢 种	板厚 毫米	取样 方向	2 毫 米 V			5 毫米 U	压 制 缺 口	
			VT _E ℃	VT _S ℃	VT ₁₅ ℃	UT _d ℃	PT _E ℃	PT _C ℃
N-TUF50	25	L	-85	-82	-105	<-120	-59	-61
		C	-69	-68	-110	<-120	-55	-59
	50	L	-86	-83	<-120	<-120	-70	-70
		C	-67	-61	<-120	<-120	-71	-74
RIVER ACE60L	26	L	-70	-71	-92	<-140	-55	-55
		C	-67	-65	-88	<-140	-50	-50
	40	L	-66	-64	-81	<-130	-45	-45
		C	-62	-60	-79	<-130	-45	-45

VT_E——能量转变温度

VT_S——剪切断面率转变温度

VT₁₅——15英尺-磅转变温度

UT_d——韧性转变温度

PT_E——能量转变温度

PT_C——50%脆性断面率转变温度

由日本引进的球罐用钢板的冲击值比较高, 在-45℃的试验温度下, 2毫米V型却贝试样的冲击值最高可达30公斤-米, 最低值不小于7.3公斤-米^{〔12〕〔13〕}。

c) NRL落锤试验数据